

передачи. Численный анализ позволил оценить погрешности метода зуботочения. Изготовлен экспериментальный инструмент, позволяющий сочетать обработку резанием с прикатыванием поверхностей зубьев, выполнено изготовление опытных образцов колес. Дальнейшие исследования потребуют изучения стойкости режущей части инструмента, напряженно-деформированного состояния объектов и инженерии поверхностей колес.

**Список литературы:** 1. *Либуркин Л.Я., Трубняков В.А.* Увеличение долговечности винтовой зубчатой передачи // В кн.: Тр. Ленинградского инж.-строит. ин-та. – 1977. – Вып.1(127). – С.120-126. 2. *Крутина Н.П., Гаврилов Ю.В.* Оптимальные параметры обкаточных резцов при зуботочении // Известия Челябинского научного центра. – Вып.2(36). Тема вып.: "Проблемы машиностроения". – 2007. – С.49-54. 3. *Шишов В.П., Носко П.Л., Величко Н.И., Карпов А.П.* Высоконагруженные винтовые зубчатые передачи. – Луганск: изд-во ВНУ им. В.Даля, 2009. – 240с.

*Поступила в редакцию 24.04.2013*

УДК 621.833

**Формообразование цилиндрических колес методом зуботочения / Н.И. Величко** // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2013. – №41(1014). – С.23-27. – Бібліогр.: 3 назв.

Побудована математична модель верстатного зачеплення пари довбач – циліндричне колесо. Проведена оцінка точності процесу формоутворення спряжених поверхонь зубців з використанням моделі незатілюваного інструмента при виготовленні циліндричних прямозубих коліс.

**Ключові слова:** зачеплення, довбач, циліндричне колесо.

A mathematical model of a gear-shaping cylindrical wheel pair is designed. Accuracy assessment for the process of forming conjugate surfaces has been made; the possibility of applying an unreheued tool when producing cylindrical straight-toothed wheels has been considered.

**Keywords:** gearing, gear-shaping, cylindrical wheel.

УДК 621.9

**В.А. ВИТРЕНКО**, д.т.н., проф., заведуючий каф. ТМийК ВНУ им. В. Даля, Луганск;  
**Б.С. ВОРОНЦОВ**, к.т.н., профессор каф. ТМийК ВНУ им. В. Даля;  
**С.Г. КИРИЧЕНКО**, аспирант каф. метрологии ВНУ им. В. Даля;  
**И.А. БОЧАРОВА**, к.т.н., доцент каф. ГиКМ ВНУ им. В. Даля

## ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗУБЬЕВ НА ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ЗАГОТОВКАХ

Рассмотрено нарезание зубьев на гиперболоидных заготовках с использованием вертикально-фрезерных станков с ЧПУ. Впервые получены принципиально новые гиперболоидные зубчатые колеса, имеющие линейный характер касания зубьев при любом передаточном отношении в механизме.

**Ключевые слова:** Винтовое зубчатое колесо, линейный характер касания, гиперболоидное зубчатое колесо, схемы формообразования, винтовая линия.

**Введение.** В мире выпускается большое количество зубчатых колес различного назначения. В настоящее время одним из распространенных зубчатых колес являются винтовые зубчатые колеса. В производстве, рассмотренном выше, зубчатые колеса, как правило, формообразуются при помощи стандартных фрез на цилиндрических заготовках. Очень часто в механизме такие колеса работают на скрещивающихся осях. Характер касания зубьев в

© В.О. Вітренко, Б.С. Воронцов, С.Г. Кириченко, І.А. Бочарова, 2013

таких зубчатых передачах может быть как точечным, так и линейным. Если передаточное отношение в зацеплении больше восьми, то характер касания линейный, если передаточное отношение меньше восьми, то характер касания зубьев точечный. Такое положение в значительной степени зависит от конструкции зубчатого колеса и технологии его изготовления.

На наш взгляд, в последнее время конструкторы, технологи и другие исследователи зубчатых зацеплений большое внимание уделяют новым конструкциям зубчатых колес и инструментов для их нарезания. Это объясняется широким применением вычислительной техники и программных продуктов, предназначенных для конструирования приведенных выше зубчатых изделий. Однако на практике очень сложно изготовить такие зубчатые колеса на серийных зубофрезерных станках из-за невозможности осуществления многих формообразующих движений. Имея большой опыт изготовления зубчатых колес на серийных зубообрабатывающих станках, сложно преодолеть стереотип мышления и попытаться изготовить такие детали на различном оборудовании с ЧПУ.

**Цель работы** – исследование процесса нарезания зубьев на гиперболических заготовках на 4-х координатном вертикально фрезерном станке с ЧПУ при помощи концевой фрезы.

**Основная часть.** Нарезание зубьев производится на предварительно изготовленной гиперболической заготовке. Такие гиперболические зубчатые колеса могут использоваться в различных механизмах для конструирования винтовых зубчатых пар с линейным характером касания зубьев при любом передаточном отношении. Кроме того, такие гиперболические зубчатые колеса можно использовать как геометрическую основу многозаходных гиперболических зубчатых фрез. При изготовлении таких фрез основная инструментальная поверхность полностью совпадает с производящей поверхностью. Вследствие особой геометрии таких зубчатых изделий они не требуют дополнительной операции затыловки зубьев.

Нарезание зубчатых колес при помощи концевой фрезы попытаемся осуществить на вертикально фрезерном станке с ЧПУ по схеме, представленной на рисунке 1. Концевая фреза устанавливается в инструментальном суппорте станка, а заготовка нарезаемого гиперболического зубчатого колеса закреплена на оправке, установленной в делительную головку, которая в свою очередь установлена на столе станка. При помощи одновременных трех поступательных движений и одного вращательного движения нарежем зубья на гиперболической заготовке.

Перед нарезанием зубьев на гиперболической заготовке в данном исследовании попытаемся привести методику расчета и конструирования различных гиперболических зубчатых колес. На первом этапе исследования нарежем самое простое однозаходное зубчатое колесо. Угол наклона винтовой канавки этого зубчатого колеса  $\gamma = 14^\circ$ . Модуль гиперболического зубчатого колеса в нормальном сечении  $m_n = 2\text{ мм}$ . Шаг колеса

$S = m_n \pi = 6,28\text{ мм}$ . Так как

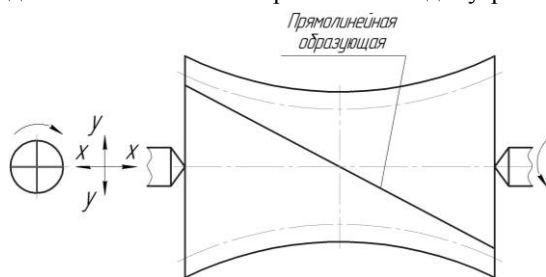


Рисунок 1 – Схема формообразования гиперболического зубчатого колеса

диаметр зубчатого колеса меняется от горлового к торцевому сечению, следовательно, его модуль также меняется по сечениям. Найдем модуль гиперболоидного зубчатого колеса в торцевом сечении. Разобьем его поверхность на составные части, приняв ширину каждой из них равной 60мм.

$$m_t = m_n / \cos(90^\circ - \gamma) = m_n / \cos 76^\circ = 8,2671 \text{ мм.}$$

Далее найдем делительный диаметр гиперболоидного колеса в большем торце:  $d_d = q \cdot m_t = 10 \cdot 8,2671 = 82,67 \text{ мм}$ , при этом  $q$  примем равным 10.

Наружный диаметр колеса определим следующим образом:  $d_a = d_d + 2,5 \cdot m_n = 82,67 + 2,5 \cdot 2 = 87,67 \text{ мм}$ .

Конструкция рассматриваемого гиперболоидного зубчатого колеса представлена на рисунке 2.

Представленное гиперболоидное зубчатое колесо имеет большую ширину, поэтому на практике такие колеса разбивают на составные части. В нашем исследовании каждая из таких составных частей по ширине равна 60мм. При проектировании гиперболоидной фрезы необходимо определить величину задних углов на таком инструменте. Попытаемся это сделать при помощи простых геометрических расчетов.

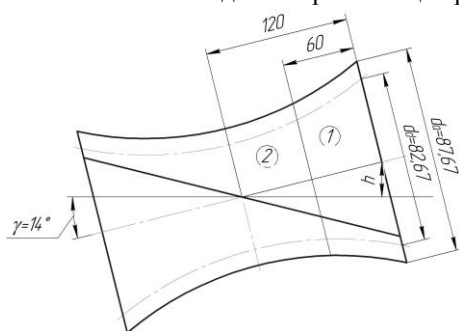


Рисунок 2 – Эскиз рассматриваемого гиперболоидного зубчатого колеса

Рассмотрим большой торец фрезы, а, следовательно, фрезу, выделенную на рисунке 3.

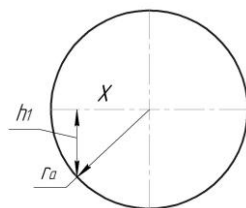


Рисунок 3 – Торец фрезы

$$r_a = d_a / 2 = 43,84 \text{ мм, следовательно } h = 120 \cdot \sin 14 = 29,03 \text{ мм};$$

$$h_1 = h / \cos \gamma = 29,92 \text{ мм}; \quad x = \sqrt{r_a^2 - h_1^2} = 32,04 \text{ мм}.$$

Теперь рассмотрим меньший торец фрезы и произведем такие же расчеты:

$$h = 60 \cdot \sin \gamma = 60 \cdot 0,2419 = 14,51 \text{ мм}; \quad h_1 = h / \cos \gamma = 14,51 / 0,9703 = 14,96 \text{ мм};$$

$$r_a = \sqrt{x^2 + h_1^2} = 35,36 \text{ мм}.$$

Диаметр фрезы наружный в рассматриваемом сечении:  $d_a = 2 \cdot r_a = 70,72 \text{ мм}$ .

$$d_d = d_a - 2,5 m_n = 65,72 \text{ мм}.$$

Определим перепад диаметров рассматриваемой фрезы:  $87,67 - 70,72 = 16,95 \text{ мм}$ .

Такого перепада вполне достаточно, чтобы получить геометрические задние углы при конструировании зуборезного инструмента. Необходимо помнить, что варьируя диаметром конструируемого инструмента, его числом заходов и углом наклона витка можно в значительной степени увеличить геометрические задние углы на проектируемом инструменте.

Если попытаться сконструировать фрезу, выделенную на рисунке сектором 2, то по тому же принципу найдем ее геометрические размеры. В этом случае расчет показал, что в большем торце диаметры фрезы равны:  $d_d = 65,72\text{мм}$ ,  $d_a = 70,72\text{мм}$ .

В меньшем торце эти диаметры равны:  $d_d = 59,08\text{мм}$ ,  $d_a = 64,08\text{мм}$ .

В этом случае перепад диаметров в торцах фрезы составляет 6,64мм. Для такой широкой фрезы недостаточно такого малого перепада диаметров для образования задних углов.

Предложенный метод нарезания зубьев не является высокопроизводительным, хотя обладает высокой универсальностью и поэтому может быть применим для большинства машиностроительных предприятий. Кроме того на производстве остро стоит вопрос чистовой обработки зубьев после их термической обработки. На серийном зубошлифовальном оборудовании возможна такая обработка, но при этом возникают сложности с изготовлением и заправкой шлифовальных кругов, имеющих сложный профиль. На станочном оборудовании с ЧПУ с вертикальным расположением шпинделя можно при помощи абразивного инструмента обрабатывать термообработанные гиперболоидные зубчатые колеса.

Изготовление и отделка зубьев на вертикально фрезерных автоматах и полуавтоматах позволяет нарезать зубья на гиперболоидных заготовках с любым числом заходов. На серийном зубофрезерном оборудовании сложно нарезать зубчатые колеса с числом заходов больше 10, т.к. в этом случае червячная пара зубофрезерного станка работает на высоких оборотах, что приводит к ее нагреву и преждевременному износу. Кроме того, возникают сложности при настройке делительной гитары зубофрезерного станка, при этом необходимо иметь большой ассортимент зуборезного инструмента.

При помощи разработанного метода нарезания зубьев на практике были нарезаны гиперболоидные зубчатые колеса с числом зубьев от одного до сорока. Угол наклона витка таких зубчатых колес меняется от  $7^\circ$  до  $45^\circ$ . Диаметры делительных окружностей лежали в пределах  $d_d = 41...230\text{мм}$ . Таким образом, в данном исследовании впервые удалось нарезать зубья на однополостном гиперболоиде на обычных универсальных станках с ЧПУ. Общий вид таких зубчатых колес представлен на рисунке 4.

Далее в исследовании рассматривалось зацепление изготовленных гиперболоидных зубчатых колес с цилиндрическими прямозубыми и косозубыми зубчатыми колесами. Целью обкатки являлось определение величины мгновенного суммарного пятна контакта в зацеплении. Пятно контакта определялось после поворота колес собранной передачи на полный оборот при легком торможении. Анализ пятен контакта у всех цилиндрических гиперболоидных зубчатых пар показал, что характер касания зубьев был линейный. С увеличением количества зубьев гиперболоидных зубчатых колес и их диаметра площадь пятна контакта увеличилась. У всех собранных зубчатых пар, независи-



Рисунок 4 – Гиперболоидные зубчатые колеса

мимо от передаточного отноше-

ния, характер касания между зубьями оказался линейным.

**Выводы.** Получила дальнейшее развитие теория и практика формообразования винтовых зубчатых колес на стандартном универсальном оборудовании с ЧПУ при помощи концевых фрез. Экспериментально определено пятно контакта у всех разработанных зубчатых передач. Исследования показали, что независимо от передаточного отношения в зубчатой передаче характер касания между зубьями будет линейным. Таким образом, впервые удалось получить гиперboloидные зубчатые колеса с линейным характером касания зубьев независимо от их заходов и габаритных размеров.

**Список литературы:** 1. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці / Равська Н.С., Родін П.Р., Ніколаєнко Т.П., Мельничук П.П. – Житомир: ЖИТИ, 2000. – 169с. 2. Пат.34475 Україна, МПК В23F 9/00. Спосіб нарізування гіперboloїдних зубчастих коліс / О.В. Вітренко, О.С. Вітренко, І.О. Кириченко, заявник і патентовласник Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. – №200803692; Заявл. 24.03.2008; Опубл. 11.08.2008, Бюл. №15. 3. Кириченко І.А. Создание гиперboloидных передач с линейным контактом зубьев на базе специальных режущих инструментов: дисс... докт. техн.наук: 05.02.02 "Машиноведение". – Луганск, 2004. – 350с.

*Поступила в редколлегию 22.04.2013*

УДК 621.9

**Вопросы совершенствования технологии формообразования зубьев на гиперboloидных заготовках / В.А. Витренко, Б.С. Воронцов, С.Г. Кириченко, И.А. Бочарова // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2013. – №41(1014). – С.27-31. – Бібліогр.: 3назв.**

Розглянуте нарізання зубців на гіперboloїдних заготовках з використанням вертикально-фрезерних верстатів з ЧПУ. Вперше одержані принципово нові гіперboloїдні зубчасті колеса, які мають лінійний характер торкання зубців при будь-якому передаточному відношенні в механізмі.

**Ключові слова:** Гвинтове зубчасте колесо, лінійний характер торкання, гіперboloїдне зубчасте колесо, схеми формоутворення, гвинтова лінія.

Teeth cutting on hyperbola work-pieces using vertical-milling NC machine-tools has been investigated. Principally new hyperbola gears having linear character of teeth contact under any transmission ratio in a mechanism have been obtained for the first time.

**Keywords:** helical gear, linear character of contact, hyperbola gear, form-shaping schemes, helical curve.

УДК 620.178.16 : 621.892

**А.В. ЗАХАРЧЕНКО**, старший преподаватель каф. автомобильного транспорта Университета "Украина", Киев

## **ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МЕХАНИЗМАХ ПРОТИВОИЗНОСНОГО И АНТИФРИКЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ ПАКЕТОВ ПРИСАДОК К ТЕХНИЧЕСКИМ МАСЛАМ**

На основании современных трибологических источников предлагается аналитический обзор путей решения проблемы выбора по механизму противозносного и антифрикционного действия в трибосопряжении определенного смазочного материала, который соответствует конкретным условиям эксплуатации. Систематизированы требования для нахождения пороговых значений результата совместного действия тепловых и механических нагрузок, когда поверхностные слои трущихся тел становятся химически и каталитически активными, что есть необходимым для интенсификации процессов образования эффективного химически модифицированного слоя.

**Ключевые слова:** пакет присадок, химически активные вещества, поверхность трения, хемосорбция, химически модифицированный слой.

© А.В. Захарченко, 2013